

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



www.cea.fr

INSTRUMENTATION DE MESURE DE TRANSFERTS THERMIQUES

| Olivier Braillard

31 JANVIER 2013

Rencontre CEA ⇔ Industrie pour l'innovation et le transfert de technologie
Instrumentation – Mesure – Caractérisation et leurs Applications

- Intérêt de la mesure précise de température pour déterminer les transferts de chaleur.

- Point commun des offres de mesures thermiques

- Quatre brevets de mesures thermiques ... et d'autres en perspectives

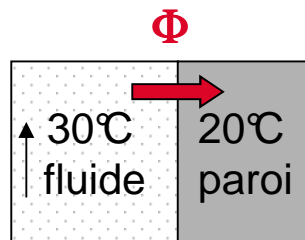
- Le capteur de coefficient d'échange « coefh »

- Une expérience CEA/entreprise – du brevet à la licence

- Conclusion

Pourquoi bien mesurer la température est-il si important ?

- Une température caractérise un état d'agitation moléculaire d'un corps. Plus concrètement, un échange, un transfert de chaleur (énergie) entre 2 milieux sont déterminés par la mesure de température

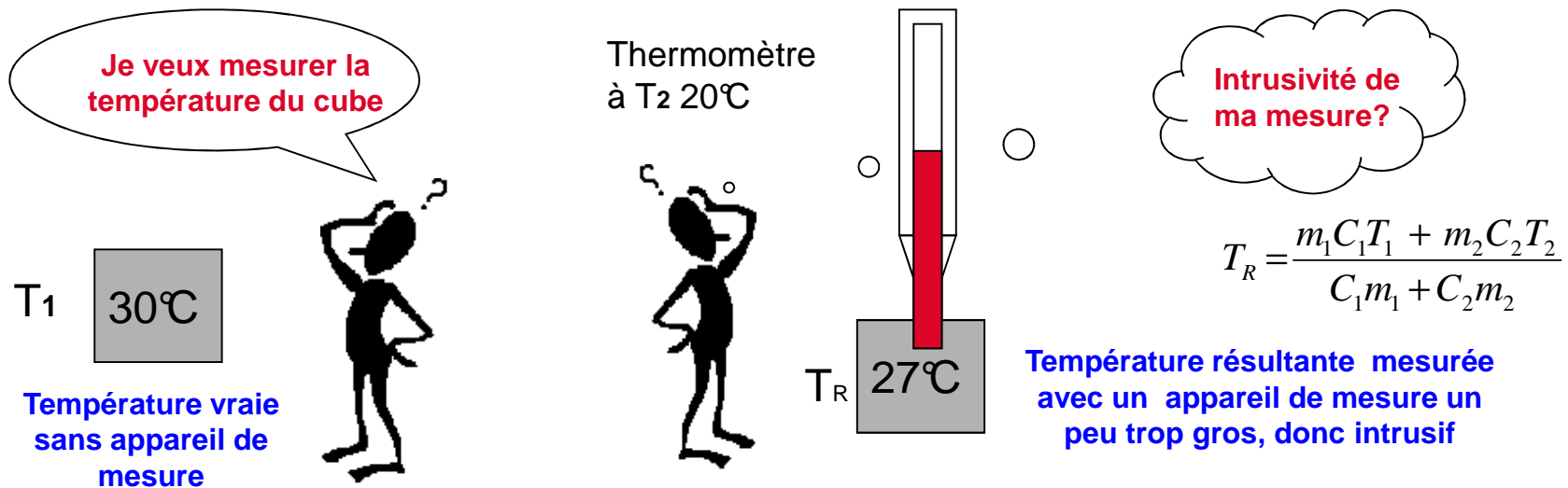


La mesure de T impacte fortement

$$\Phi \text{ (W / m}^2\text{)} = h \cdot (T_f - T_p)$$

$$P \text{ (W)} = h \cdot S \cdot (T_f - T_p)$$

- Mais, ... quelques précautions sont à prendre pour éviter de grossières erreurs (attention aux mesures intrusives)



Point commun des offres en mesures thermiques

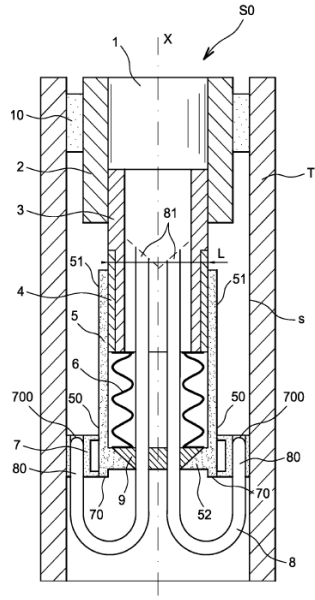
- Quelle que soit la finalité de la mesure de température, celle-ci doit être réalisée avec un minimum d'intrusivité. C'est la garantie de résultats fiables et pertinents.

- C'est le point commun qui apparaît des 4 brevets, c'est aussi un déficit technologique pour y parvenir.
 - Mesure de la puissance résiduelle d'une charge (nucléaire) – Publi n°2923 010

 - Mesure de la température interne surfacique d'un tube (nucléaire et non nucléaire) – Publi n°2924 218

 - Mesure locale du coefficient d'échange – Publi n°294 0 435 - licence L15507 Kayme

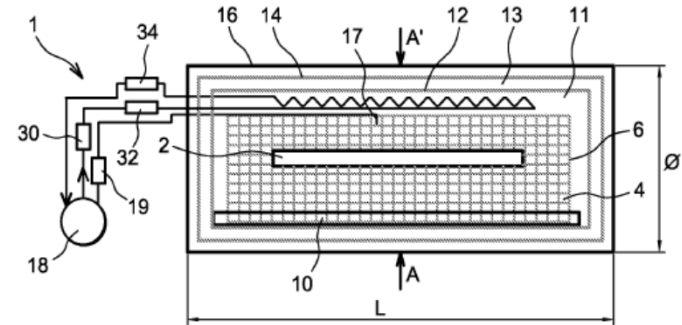
 - Simulation de la puissance thermique d'un crayon combustible (REP RNR Na) – Publi n°2975 527



Mesure locale (rapide) de température surfacique à l'intérieur d'un tube

> Maîtrise de la résistance thermique de contact

- Détection des chgt. de régime d'échange (crise d'ébullition)
- Cinétique, champ de température,
- Applications : nucléaire et non nucléaire (tubes échangeurs)

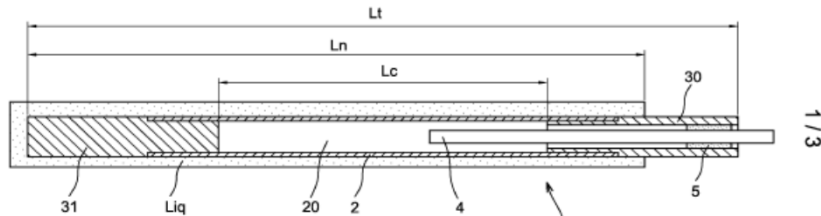


Mesure (rapide) de la puissance résiduelle d'une charge (combustible irradié) cinétique de décroissance

> Maîtrise de la température fluide entrée/sortie par bilan enthalpique $P = q \cdot \Delta H$

- Dimensionnement des systèmes d'évacuation de chaleur
- Applications : nucléaire (caractérisation des crayons combustibles irradiés)
- non nucléaire (toute charge non nucléaire)

Les offres (2) en mesures thermiques



Simulation de la puissance d'un crayon combustible (mesure indirecte)

> $Pe = rI^2$ (puissance électrique joule)

> Maîtrise de l'homogénéité et la puissance (MW/m^2) d'un crayon combustible

- Qualification thermohydraulique
- Simulation crises d'ébullition

- Applications : nucléaire (chaudière) et non nucléaire



Mesure locale du coefficient d'échange à grande dynamique
 > non intrusivité des mesures de température

> Maîtrise du flux de chaleur et du coefficient d'échange

- Fatigue thermique,...
- Application : zones de mélange,...

■ Mais aussi, d'autres brevets en cours de publication

- Un dispositif de détection de température (associé à la simulation d'un crayon combustible)
- Un dispositif de mesure de gradient thermique d'une pastille de combustible

Le capteur “coefh”

■ **Objectif** : mesurer localement le coefficient d'échange h en zone de mélange et en régime turbulent (avec fluctuation de température) avec une grande dynamique.

■ **Défit technologique** :

- Encapsuler dans un cylindre de 6 x 6 (mm) 3 micro-TC interne soudés (mesure en paroi) + un thermocouple TC traversant (mesure externe dans le fluide).

■ **Applications** :

- Zone de mélange (avec écart de température) avec ou sans singularités en régime turbulent, écoulement instationnaire, échelon (chocs) thermique
- Liquide ou gaz, fluide chargé en particules, diphasique, multi-constituants

■ **Secteurs**

- Thermique (échangeurs), Mécanique (fatigue),...
- Bâtiments (évaluation des déperditions, effet du vent)

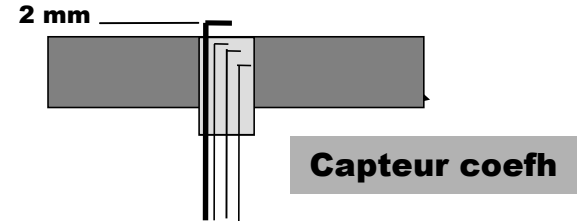
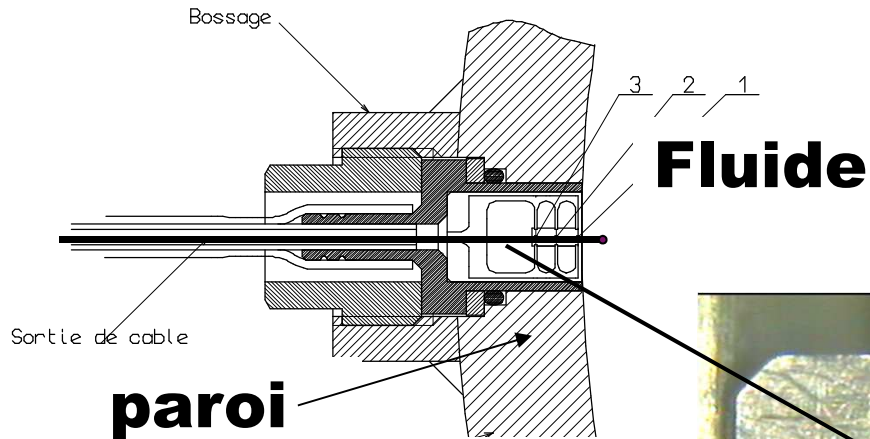
■ **Activités**

- Aide à la conception, au dimensionnement
- Qualification ou performance sur matériels existants

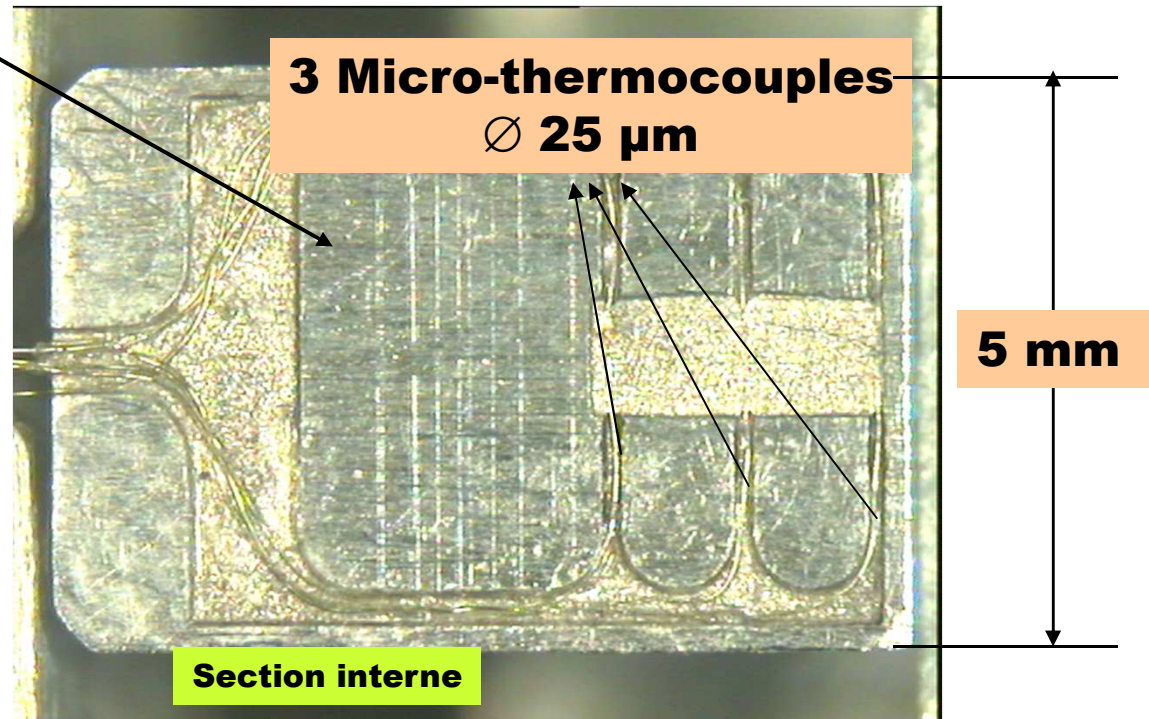
Le capteur "Coefh"

Corps du capteur et paroi de même nature

- Capteur « coefh »
- 3 TC \varnothing 25 μ m (dans la paroi) (à 0,25 – 1.4 – 2.4 mm distance paroi)
- + 1TC (\varnothing 0,3 mm) dans le fluide à 2 mm



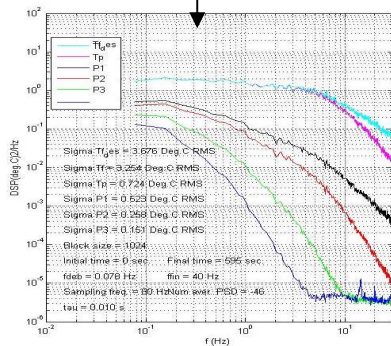
Le capteur « coefh » monté
vue du TC externe
(p = 60 bars , T = 200°C)



Sortie résultats en 4 étapes :

- 4 mesures de température (3 en paroi P1(t), P2(t), P3(t) + 1 fluide : Tf(t))
- détermination du flux thermique $\Phi(t)$ par conduction
- détermination de la mesure paroi Tp(t) par conduction inverse.
- détermination du coefficient d'échange h : 3 méthodes disponibles

DSP Temp.
(°C²/Hz)

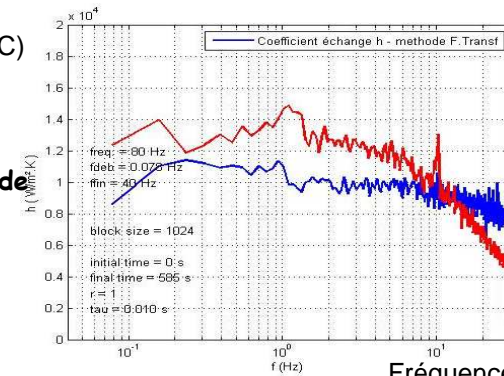


Spectre (DSP) des signaux
Tf, Tdes, Tp, P1, P2, P3

Fréquence (Hz)

h (W/m².°C)

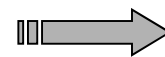
Coefficient d'échange h en fonction de la fréquence des fluctuations thermiques dans 2 zones de mélange à différents Reynolds



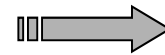
Fréquence (Hz)

produit et options proposés :

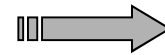
- Capteur seul
- Capteur + algorithme
- Capteur + algorithme + acquisition



Universitaire, recherche

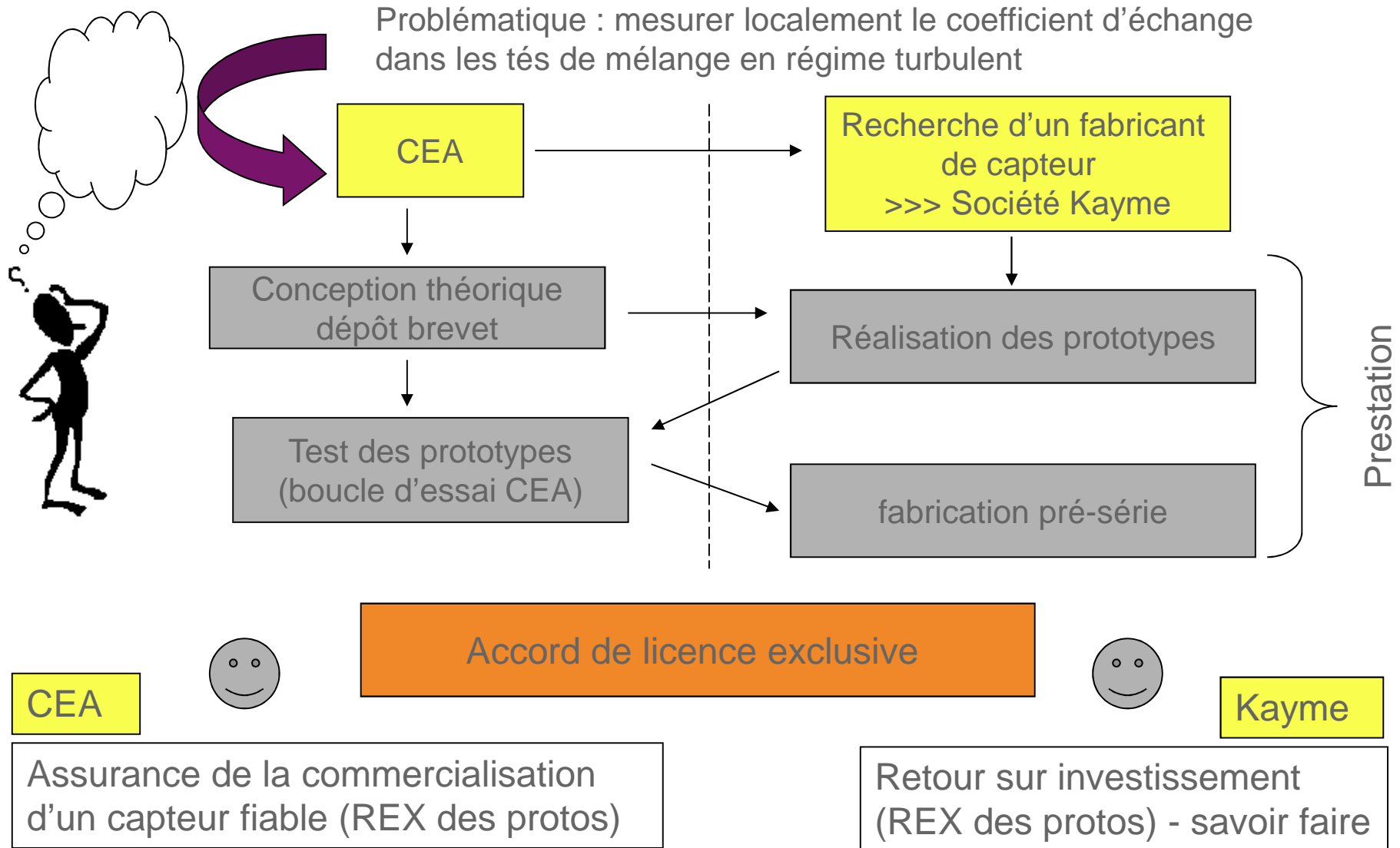


Secteur R&D dans industrie



Industriel - constructeur

Expérience vécue : du brevet à la licence



CONCLUSION - offre mesures thermiques

Basée autour d'une recherche de la **non intrusivité** des mesures de température

- Obtenir des mesures précises de caractéristiques thermiques (flux, transfert, coefficient d'échange,..) dans des cas complexes (niches technologiques).

Les brevets touchent de nombreux secteurs d'activités

- R et D , aide à la conception
- Dimensionnement
- Qualification de l'existant, vérification de performances
- Contrôle non destructif

Les applications sont nombreuses : nucléaire et non nucléaire

- Thermique, déperditions
- Transfert d'énergie
- Mécanique (fatigue thermique)

Différents secteurs industriels concernés

- Fabricant d'échangeur, fabricant d'instrumentation
- BTP, déperditions (organisme d'évaluation – complément des mesures infra rouge)

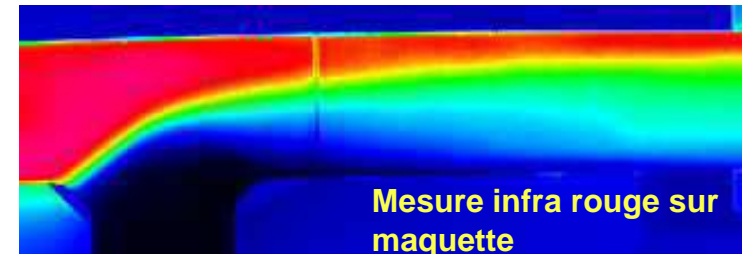
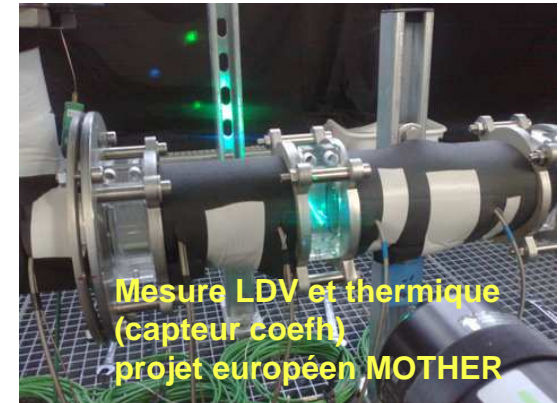
CONCLUSION (2) - offre mesures thermiques

Apport logistique du CEA

- Support technologique : Boucle d'essais, maquette spéciale,
- Support conseil : Experts CEA,
- Support stratégique : Accord, collaboration, licence

Besoin du CEA / apport de l'industriel

- Support technologique : Savoir faire des industriels
- Support conseil : Connaissance du milieu industriel (marchés)
- Support stratégique : Concrétiser les projets



Contacts

olivier.brillard@cea.fr

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Cadarache | 13108 Saint-Paul-Les-Durance cedex
T. +33 (0)4 42 25 70 00 |

DEN
DTN
STRI

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019